

에어핸들링 유닛의 공기정화용 전기집진기의 방전극 비교

신동호 · 우창규 · 김학준 · 김용진 · 한방우*

한국기계연구원 환경에너지기계연구본부

(2017년 3월 2일 투고, 2017년 3월 14일 수정, 2017년 3월 15일 게재확정)

Comparison of discharging electrodes for the electrostatic precipitator as an air filtration system in air handling units

Dongho Shin · Chang Gyu Woo · Hak-Joon Kim · Yong-Jin Kim · Bangwoo Han*

Environmental and Energy Systems Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials

(Received 2 March 2017; Revised 14 March 2017; Accepted 15 March 2017)

Abstract

Indoor air quality is of increasing concern because it is closely related human health. An air handling unit (AHU) can be used to control the indoor air quality related to particulate matters and CO₂ as well as air conditioning such as temperature and humidity of indoor air. An electrostatic precipitator has a high collection efficiency and low pressure drop, however, ozone can possibly generate from its chargers, which is one of drawbacks to apply it for indoor air control. Here we compared four charging electrodes such as a 50 μm tungsten wire, a 100 μm tungsten wire, a 16 μm -thickness Al foil and a carbon fabric comprised of 5-10 μm fibers. The carbon fabric electrode showed a superior particle collection efficiency and a lower ozone generation at a given power consumption compared to tungsten wires of 50, 100 μm and an Al foil electrode. This low ozone generating, micro-sized electrode can be applied to the electrostatic precipitator in AHU for indoor air control.

Keywords : carbon fabric, electrode, ozone, air handling unit

* Corresponding author.
Tel : +82-42-868-7068
E-mail : bhan@kimm.re.kr

1. 서론

실내공기의 중요성은 점차 증가하고 있으며 최근에는 미세먼지의 건강의 위해성이 알려지면서 많은 관심을 받고 있다. 오존은 실내 공기에 존재하는 물질 중에 건강을 위협하는 물질 중에 하나로, 상대적으로 안정하며 인체에 노출되었을 때 호흡기 전반에 악영향을 준다. 오존은 주로 실외에서 태양빛에 의해 생성되어 유입되며 실내에서는 프린터나 복사기 등에서 생성될 수 있다(Weschler, 2000; Boelter & Davidson, 1997).

에어핸들링유닛(Air Handling Unit, AHU)은 실내 공조를 위해서 많이 사용되고 있으며 공기 질 개선을 위해 AHU에 필터를 적용하고 있다. 전기집진필터는 차압이 낮고 효율이 높아 주로 산업용에 적용되는데, 실내에는 오존발생의 우려 때문에 많이 사용되고 있지는 않다(Vu et al., 2011; Song et al., 2009). 발생된 오존을 포집하기 위해 오존 필터 등을 사용하기도 하나 추가적인 비용과 관리가 필요하다. 탄소나노튜브(Bo et al., 2010), 그래핀(Bo et al., 2011) 등이 오존발생을 낮추기 위해 방전극으로 사용된 바 있으나 제조하는데 어려움이 있다. Grob et al. (2013)이 UV를 이용하여 오존발생량이 매우 적은 하전장치를 개발한 바 있으나 UV 발생에는 많은 에너지가 소모되며 Hyun et al. (2016) 이 방전극에 코팅된 텅스텐 와이어를 사용하여 오존발생량을 줄이는 연구를 보고한 바 있으나 코팅에 많은 비용이 소모된다.

본 연구에서 사용된 하전장치는 오존 등과 같은 2차 오염물질이 매우 적게 발생되면서 다량의 음극 또는 양극 이온을 발생시킬 수 있는 5~10 μm 직경의 탄소섬유 다발로 이루어져 있다(Han et al., 2009; Park et al., 2011; Bae and Ji (2013)). 이를 AHU에 적용할 수 있도록 전기집진부의 방전극을 탄소섬유로 구성하고 후단에 평행집진판을 두어 제작된 방전극의 성능을 평가하고자 한다. 이를 통해 전기집진기의 장점인 낮은 차압으로 AHU의 운전비용을 감소시키고 높은 효율로 실내공기질 향상에 기여하고자 하였다(Kang et al., 2016; Han et al., 2012; Koo et al., 2013).

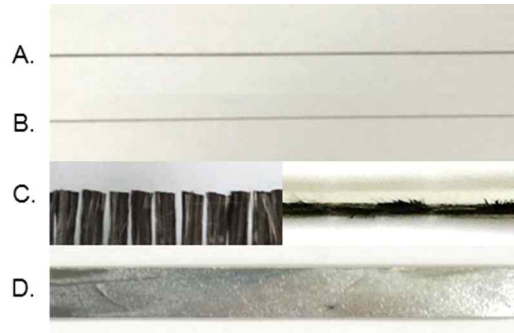


Figure 1. Picture of charging elements used in this study. a: 100 mm-diameter tungsten wire, b: 50 mm-diameter tungsten wire, c: carbon fabric(thickness 5–10 mm), d: aluminium foil(thickness 16 mm).

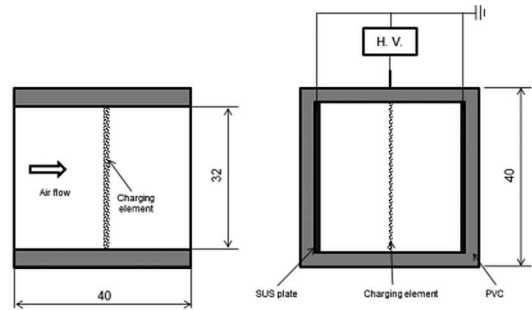


Figure 2. Schematic of the charger used in this study.

2. 실험장치 및 방법

Figure 1에서는 본 연구에 사용된 4가지의 방전극을 나타내고 있다. 이 방전극을 이용하여 하전부를 구성하였고, 준비된 방전극은 Figure 2에서와 같이 하전부 중앙에 위치하여 접지판과의 거리를 일정하게 두고 방전극의 종류만 달리하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서는 수 kV의 음전압을 중앙 방전극에 인가하였고 바깥쪽 면에 위치한 SUS 접지판에는 접지하여 단극하전이 이루어지도록 하였다. 방전극 외곽 덕트는 비전도성 재질인 PVC를 사용하였다.

본 연구에서 사용된 집진장치는 7장의 SUS 판으로 구성되어있다. 그 중 3장에 고전압을 인가시키고 4장에 접지하여 전기장을 생성하였다. 이 때 판간 간격은 3.2 mm로 집진장치 인가전압이 -5 kV 조건

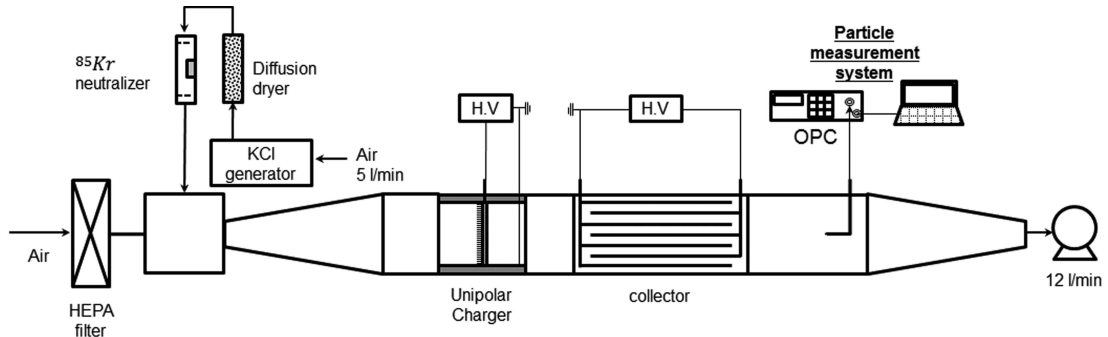


Figure 3. Schematic of the experimental setup for the measurement of particles collection efficiency.

에서 하전된 입자가 통과할 경우 99.99% 집진이 가능하도록 제작하였다.

Figure 3에 본 연구에서 사용된 하전장치의 성능 평가를 위한 덕트 시스템을 나타내었다. 덕트의 크기는 단면적이 32 x 32 mm 크기로, 300 nm 크기의 시험 분진을 만들기 위해 KCl 1% 용액을 atomizer (model 307601, TSI, 미국)에 넣고 4~6 L/min의 청정 공기를 유입시켰다. 발생한 KCl 입자는 시험덕트의 상류 측에 공급하여 덕트 하류측 송풍기에 의해 유입되는 시험공기와 혼합되도록 하였다.

전기집진장치 전단입자 농도를 280~300 nm 입경 영역에서 약 10^3 개/cm³의 범위 내로 고르게 유지시켰으며, 오염입자 유입을 최소화하기 위해 덕트 상류측에 HEPA (High-Efficiency Particulate Air) 필터를 설치하였다.

일반적으로 AHU에서의 면속도가 2.5 m/s 로 가동 되는데, 원활한 집진 성능 비교를 위해 시험 공기 유량은 12 L/min(면속도 0.3 m/s)조건으로 설정하였다. 금속판 집진부의 인가전압을 -5 kV인 조건에서 각 방전극의 인가전압을 -4 ~ -9 kV로 변화시키면서 300 nm 입자의 집진성능 및 오존농도를 측정하였다. 집진효율을 계산하기 위해 OPC(Optical Particle Counter, Grimm 1.109, 독일)을 이용하여 입자의 계수 농도를 측정하였고, 오존농도는 오존계측기(Model 202, 2B Technologies, 미국)를 사용하였다. 입자 샘플링은 집진장치 후단 한곳에서 이루어졌고, 집진효율은 다음 식으로부터 산출하였다.

$$\eta = \left(1 - \frac{n_0}{n_1}\right) \times 100$$

η = 제거효율(%)

n_0 = 하전부 off, 집진부 on

n_1 = 하전부 on, 집진부 on

3. 결과 및 고찰

Figure 4는 방전극의 종류에 따른 하전부의 인가전압별 전류의 변화를 나타내었다. 인가된 전압과 전류는 전류계(Electrometer, B2985A, Keysight, 미국)에 방전극과 접지판에 직렬로 연결하여 측정하였다. Carbon fabric, 50 μ m tungsten wire, 100 μ m tungsten wire, Aluminium foil 방전극 순으로 동일 인가전압에서 전류가 높게 나타났다. carbon fabric, 50 μ m Tungsten wire, 100 μ m Tungsten wire 방전극은 방전극의 크기가 커지면서 전류가 낮아지는 경향성을 띠고 있다. 한편 Aluminium foil 경우 방전 개시전압

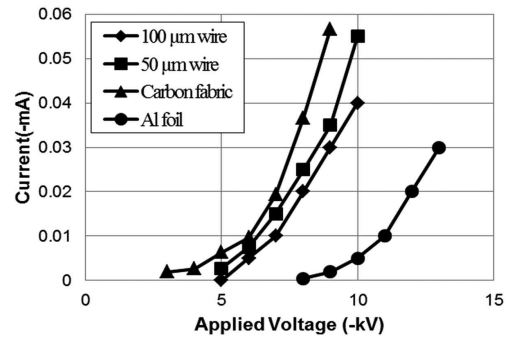


Figure 4. Changes of Current in the applied voltage to ionizers by changing the charger materials.

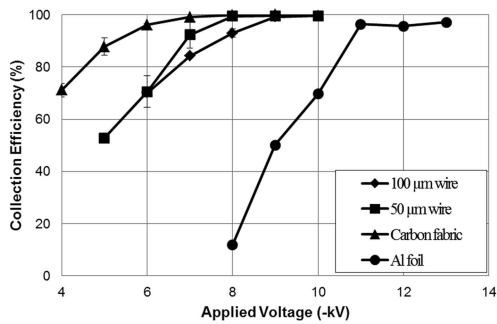


Figure 5. Collection efficiency as a function of the applied voltages to ionizers for different charger materials.

이 8 kV를 나타내어 예상과는 다른 결과를 나타내었다. 이는 Aluminium foil이 가공이 어려워서 두께는 16 μm로 작은 foil을 사용하였으나 제작 상의 절단 과정에서 단면의 두께가 변형된 것으로 보인다.

Figure 5는 하전부의 인가전압을 높였을 때 방전극의 종류에 따른 집진효율을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 인가전압이 높아질수록 방전전류가 증가하고, 방전극에서 발생하는 이온이 증가함에 따라 입자 하전량이 많아져 집진효율이 증가하게 된다. Figures 4와 5를 살펴보면 동일전압에서 방전전류가 높은 방전극일수록 동일전압에서 집진성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 직경이 다른 두 개의 tungsten wire 방전극을 비교해보면 직경이 작은 방전극이 동일 인가전압에서 높은 집진효율을 나타내고 있고 50 μm tungsten wire에 비해 방전극 크기가

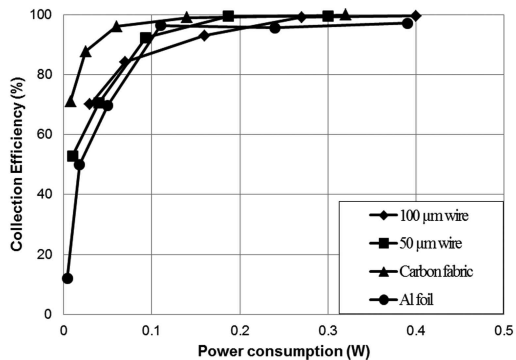


Figure 6. Collection efficiency as a function of the power to ionizers for different charger materials.

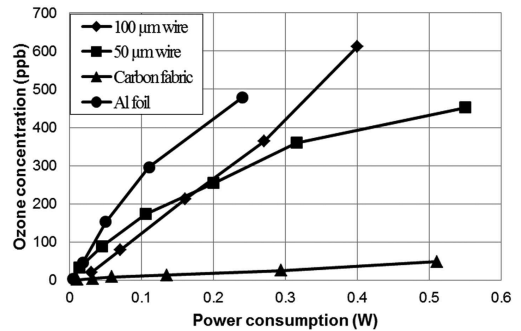


Figure 7. Ozone concentration as a function of power at charger applied voltages for different charger materials.

작은 carbon fabric 방전극이 더 높은 효율을 나타내고 있다. Figure 6는 소비전력에 따른 집진효율에 대한 그래프이다. carbon fabric 방전극의 경우 동일 소비전력에서 다른 방전극에 비해 높은 집진 효율을 나타내고 있다. tungsten wire의 경우도 wire 직경이 작은 50 μm wire가 100 μm 보다 동일 소비전력에서 높은 집진효율을 나타내고 있다. Aluminum foil 방전극은 방전극의 두께 변형으로 인해 다른 방전극에 비해 상대적으로 높은 인가전압에도 낮은 집진효율을 나타내었고 동일한 소비전력에도 가장 낮은 집진효율을 나타내었다.

Figure 7은 공기유량 7 L/min 조건에서 집진장치를 제거하고 하전장치에 전압을 인가하였을 때 방전극의 종류에 따른 오존농도변화를 나타내고 있다. 오존은 하전장치 후단 200 mm 떨어진 곳에서 측정하였다. 0.5 W 내의 동일 소비전력에서 carbon fabric 방전극의 오존 발생량은 수-수십 ppb 수준으로서 수백 ppb 수준을 나타내는 다른 방전극에 비해 1/10 이하로 현저히 낮은 오존발생량을 나타내었다. 따라서 carbon fabric 방전극이 소비전력 측면 뿐만 아니라 오존발생량 관점에서도 다른 방전극에 비해 우수하다고 할 수 있다.

다만 수 μm급의 방전극의 장시간 사용에 따른 방전극 손상이나 방전극에 dust 부착에 따른 하전 특성 저하 등 연속 운전에 따른 하전장치의 내구성 평가가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 보인다. 또한 AHU용 집진설비로 적용하기 위해서는 습도에 따른 집진 성능 영향도 향후 고려해야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 하전장치의 방전극 종류에 따라 인가 전압 및 소비전력을 변화시켰을 때 집진성능 및 오존 발생량을 평가하였으며, 결론은 다음과 같다.

(1) AHU용 전기집진장치에 주로 사용되고 있는 100 μm tungsten wire 방전극 대신 50 μm tungsten wire를 사용할 경우 동일 전압에서 더 높은 방전 전류와 집진효율을 나타냄을 확인하였고 tungsten wire 보다 방전극 크기가 더 작은 carbon fabric을 사용할 때 효과가 더욱 우수해짐을 확인하였다.

(2) 오존 발생량을 비교한 결과 carbon fabric 방전극이 다른 방전극에 비해 동일 소비전력에서 오존 발생량이 현저히 낮은 것을 확인하였다.

(3) 소비전력, 집진성능, 오존발생량을 종합적으로 판단하였을 때 carbon fabric 방전극이 기존의 전기 집진장치에서 주로 사용하고 있는 100 μm tungsten wire 방전극보다 우수하다고 판단할 수 있었다.

위의 결과로부터 실내 공기 질 향상을 위해 사용되는 AHU용 필터로서 주기적인 청소와 교체가 요구되는 기존의 섬유필터 대신에 압력손실이 낮으면서 지속적으로 사용할 수 있는 전기집진필터의 적용도 고려할 수 있고, 이를 위해서는 낮은 소비전력으로 우수한 집진성능을 나타내고 오존발생량이 거의 없는 수 마이크로급 크기의 방전극 적용이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 환경부 환경산업선진화기술개발사업과 한국기계연구원 주요사업의 지원을 받아 수행되었고 이에 감사드립니다.

References

- Bae, G.N., and Ji, J.H. (2013), Management policy and control technology for indoor air quality in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 29(4), 378-389.
- Boelter, K., J., Davidson, J. H. (1997), Ozone generation by indoor, electrostatic air cleaners, *Aerosol Science and Technology*, 27, 689-708.
- Bo, Z., Yu, K., Lu, G., Mao, S., Chen, J., Fan, F (2010), Nanoscale discharge electrode for minimizing ozone emission from indoor corona devices, *Environmental Science & Technology*, 44, 6337-6342.
- Bo, Z., Yu, K., Lu, G., Cui, S., Mao, S., Chen, J. (2011), Vertically oriented graphene sheets grown on metallic wires for greener corona discharges: lower power consumption and minimized ozone emission, *Energy & Environmental Science*, 4, 2525-2528.
- Grob, B., Burtcher, H., Niessner, R., (2013) Charging of ultra-fine aerosol particles by an ozone-free indirect UV photo-charger, *Aerosol Science and Technology*, 47, 1325-1333.
- Han, B. Hudda, N., Ning, Z., Kim, H.-J., Kim, Y.-J., Sioutas, C. (2009), A novel bipolar charger for submicron aerosol particles using carbon fiber ionizers, *Journal of Aerosol Science*, 40, 285-294.
- Han, B.W., Kim, H.J., Kim, Y.J., Jang, J.S., Lee, S.H. (2012), Collection efficiency and air cleaning capacity of two-stage electrostatic precipitator for its application to indoor air cleaning, *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 9(3), 285-298.
- Hyun, O., Baek, M., Moon, J., Ahn, Y., (2016) Performance evaluation of two-stage electrostatic air filter with low-ozone emission corona charger, *Particulate Science and Technology*.
- Kang, J.H., Cho, J.P., Nam, Y.K., Song, J.H. (2016), Effect of humidity and applied electrical power in non-thermal plasma using corona discharge for the removal of hydrogen sulfide, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 15(3), 243-250.
- Koo, T.Y., Kim, Y.M., Hong, J.H., Hwang, J.H. (2013), A Study on Collecting Electrode Design for Developing Electrostatic Precipitator(ESP) of Urban Railway Underground Tunnels, *Particle*

- and Aerosol Research*, 9(2), 79-87.
- Park, J. H., Yoon, K. Y., Hwang, J. (2011), Removal of submicron particles using a carbon fiber ionizer-assisted medium air filter in a heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) system, *Building and Environment*, 46, 1699-1708.
- Song, S.K., Kim, Y.K., Kang, J.E. (2009), Characteristics of Ozone Concentrations around an Urban Valley based on the Intensive Air Quality Measurement during Spring and Summer of 2006, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 25(4), 289-303.
- Vu, T.P., Kim, S.H., Lee, S.B., Bae, G.N. (2011), Secondary nanoparticle formation by a reaction of ozone and volatile organic compounds emitted from a commercial home cleaner liquid. *PAAR*, 7(1), 1-8.
- Weschler, C. J. (2000), Ozone in indoor environments: Concentration and chemistry, *Indoor Air*, 10, 269-288